

Marek POZZI, Edward CEMPIEL, Aleksandra CZAJKOWSKA
Politechnika Śląska, Gliwice

OCHRONA TERENÓW GÓRNICZYCH PRZED ZALEWISKAMI I PROFILAKTYKA PRZECIWPOWODZIOWA

Streszczenie. Przedstawiono wpływ działalności górnictwa podziemnego i tworzących się poeksploatacyjnych niecek osiadania na warunki krążenia wód powierzchniowych i podziemnych. Zmiany stosunków wodnych w obszarach górniczych, gdzie wody powierzchniowe i gruntowe są odizolowane od wyrobisk górniczych warstwami nieprzepuszczalnymi, zaznaczają się przede wszystkim powstawaniem terenów podtopionych w wyniku zmiany spływu wód oraz zmniejszenia głębokości zalegania wód gruntowych. Oceniono zmiany ukształtowania powierzchni terenu i związane z nimi przekształcenia stosunków wodnych w zlewni rzeki Bierawki, która poddana jest intensywnym wpływom robót górniczych. Określono sposoby ochrony terenów górniczych przed zalewiskami wraz z profilaktyką przeciwpowodziową.

PROTECTION OF COAL-MINING GROUND AGAINST POOLS AND ANTI-FLOOD PROPHYLAXIS

Summary. The paper presents an influence of underground coal-mining activity and forming post-exploitation subsidence trough on surface and underground water circulation conditions. Changes of water conditions in coal-mining areas, where surface and underground water are isolated from mining headings by the water-proof layers, are evident first of all by forming the partly flooded grounds as a result of water flow change and decrease of depth ground water occurrence. Changes of topography connected with water conditions transformations in Bierawka's river basin, which is under the influence of coal-mining activity, were estimated. Methods of coal-mining grounds protection against pools and anti-flood prophylaxis were determined.

1. Wstęp

Eksploatacja złóż węgla kamiennego sposobem podziemnym prowadzi do osiadania warstw skalnych nad złożem wybieranej kopaliny i wywołuje niejednokrotnie znaczne

zmiany ukształtowania powierzchni terenu. Deformacje terenu powodują zakłócenia spływu wód powierzchniowych i podziemnych w obrębie niecek osiadania, a także szkody w infrastrukturze technicznej (uszkodzenia obwałowań koryt cieków, rowów melioracyjnych itp.) [6,7,8].

Zmiany naturalnych warunków krążenia wód powierzchniowych i podziemnych pod wpływem osiadań poeksploatacyjnych prowadzą do powstawania podtopień i zalewisk na powierzchni terenu. Konsekwencją tych zmian jest degradacja gleb i tworzenie się nieużytków, a także zagrożenie terenów zabudowanych. Duże nasilenie zawodnień terenu w obszarach górniczych uwarunkowane jest przede wszystkim:

- stosowaniem eksploatacji ścianowej z zawałem stropu, co przy wybieraniu wielu pokładów powoduje znaczne osiadania terenu,
- warunkami naturalnymi, wyrażającymi się zamkniętym układem hydrogeologicznym złoża, gdzie w zasięgu wpływów eksploatacji górniczej, wody powierzchniowe i wody gruntowe są hydraulicznie odizolowane od wyrobisk górniczych.

Czynnikami decydującym o intensywności występowania podtopień i zalewisk na powierzchni terenu w zasięgu oddziaływania robót eksploatacyjnych są: warunki hydrograficzne obszaru, układ hydrogeologiczny złoża oraz wielkość osiadań poeksploatacyjnych terenu.

2. Ocena oddziaływania robót eksploatacyjnych na zawodnienie terenu

W tych rejonach, gdzie pomiędzy przypowierzchniowym poziomem wodonośnym, a wyrobiskami górniczymi występuje gruby kompleks skał nieprzepuszczalnych, dochodzi w zasięgu niecki obniżeniowej do względnego podnoszenia się zwierciadła wody w stosunku do powierzchni terenu, co prowadzi do zawodnienia terenu, początkowo podtapiania i okresowych zalewisk, a w fazie końcowej do tworzenia się zalewisk trwałych. Tego typu zjawiska występują głównie w części zachodniej i południowej GZW, gdzie przypowierzchniowe poziomy wodonośne odizolowane są od wyrobisk górniczych w karbonie grubym kompleksem nieprzepuszczalnych iłów trzeciorzędowych [6,7].

Deformacje górotworu w zasięgu niecki osiadania prowadzą do zakłócenia istniejących naturalnych warunków spływu wód powierzchniowych i podziemnych w tym obszarze na skutek:

- obniżenia dna cieków i innych elementów drenażu wód powierzchniowych i podziemnych oraz związanych z tym zmian spadków hydraulicznych i profilu podłużnego cieków,
- obniżenia powierzchni terenu i powierzchni spągu warstw wodonośnych oraz wynikających stąd zmian ukształtowania tych powierzchni.

Zmiany położenia przestrzennego warstw wodonośnych oraz zmian warunków zasilania i drenażu tych warstw prowadzą w konsekwencji do zaburzenia naturalnego układu przepływu wód podziemnych, co przejawia się w zmianie położenia zwierciadła wody wyrażonego w wartościach bezwzględnych (hydroizohipsy) lub względem powierzchni terenu (hydroizobaty). Z praktycznego punktu widzenia istotne znaczenie ma zmiana głębokości zwierciadła wody w stosunku do powierzchni terenu. Nadmierne zmniejszenie głębokości zwierciadła wody w stosunku do stanu pierwotnego prowadzi do zawodnienia terenu.

W poziomie wodonośnym objętym wpływami eksploatacji górniczej zwierciadło wody nie zachowuje się statycznie, a jego bezwzględna wysokość ulega obniżeniu pod wpływem osiadań. Decydujący wpływ na wielkość zmian poziomu zwierciadła wody ma nie tylko wielkość osiadania terenu, lecz także usytuowanie niecki obniżeniowej w stosunku do takich podstawowych elementów zlewni podziemnej, jak: główny ciek drenujący i dział wód podziemnych. Najistotniejsze znaczenie ma wielkość obniżenia bazy drenażu wód podziemnych, czyli koryta głównego cieku odwadniającego obszar zlewni.

Ze względu na sposób powstawania, w zależności od warunków morfologicznych oraz dominującej roli spływu powierzchniowego lub podziemnego, wyróżnia się następujące rodzaje zawodnień terenu [6,7,8]:

- rozlewiskowe – powstające w dolinach cieków na skutek zmian geometrii koryt cieków i spiętrzenia wód rzecznych; w przypadku gdy spiętrzona woda wystąpi z koryta cieku zalewając teren doliny, dochodzi do utworzenia zalewiska przyrzecznego zwanego rozlewiskiem,
- napływowe – powstające w wyniku nagromadzenia się wody w lokalnych obniżeniach terenu o nieprzepuszczalnym podłożu, wskutek zakłócenia spływu powierzchniowego (stokowego) i podpowierzchniowego (śródogłębowego),
- wodnogruntowe – powstające w wyniku zmniejszenia odległości pomiędzy osiadającą powierzchnią a zwierciadłem wody podziemnej wskutek deformacji warstw wodonośnych i powierzchni terenu; w przypadku obniżenia powierzchni terenu poniżej

poziomu zwierciadła wody i wypełnienia niecki obniżeniowej wodą pochodzącą ze spływu gruntowego dochodzi do powstania zalewiska bezodpływowego gruntowego.

3. Sposoby ochrony terenów górniczych przed zawodnieniem

Ochrona terenu przed tworzeniem się zalewisk wywołanych oddziaływaniem robót górniczych obejmuje następujące główne kierunki:

- pogłębianie i regulację koryta cieków w obrębie progów terenowych utworzonych na krawędzi niecki osiadania dla uzyskania grawitacyjnego spływu wód z niecki bezodpływowej,
- budowę szczelnych obwałowań koryta cieków w obszarze niecki osiadania, zapewniających spływ wód tranzytowych i zabezpieczających okalające tereny depresyjne przed wylewem wód rzecznych,
- budowę przepompowni w nieckach bezodpływowych wraz z rowami odwadniającymi nachylonymi w kierunku przepompowni, w celu sztucznego przerzutu wody poza teren depresyjny (metoda hydrotechniczna); jest to przeważnie rozwiązanie doraźne dla ochrony terenów zabudowanych i gruntów rolnych,
- niwelację obniżen depresyjnych z odtworzeniem pokrywy glebowej, polegającą na zwałowaniu odpadów górniczych w obrębie niecki bezodpływowej w celu przywrócenia pierwotnego poziomu terenu wraz z rekultywacją zwałowiska,
- dostosowanie frontu eksploatacyjnego do ukształtowania terenu, przy uwzględnieniu głównych kierunków spływu wód powierzchniowych i podziemnych.

Dla oceny zagrożenia powodziowego istotne znaczenie ma ustalenie maksymalnego poziomu wody w korycie cieków, przyjmowanego jako charakterystyczny stan dla wielkiej wody przy określonym prawdopodobieństwie wystąpienia. Jako wielką wodę przyjmuje się najczęściej wodę występującą w okresach stuletnich, jaka może wystąpić z prawdopodobieństwem przekroczenia $p=1\%$, czyli z częstotliwością raz na sto lat. Wodę taką przyjmuje się jako wodę miarodajną dla projektowania obiektów zabezpieczenia przeciwpowodziowego, a wodę o prawdopodobieństwie przekroczenia $p=0,3\%$ jako wodę kontrolną.

Główny kierunek ochrony przeciwpowodziowej w obszarach górniczych to niedopuszczenie do przelania się wód rzecznych na tereny depresyjne, co można zrealizować poprzez [3]:

- budowę wałów ochronnych,
- pogłębienie koryta cieku.

Ochrona terenu górniczego poprzez budowę wałów przeciwpowodziowych wzdłuż cieku. W terenie górniczym, gdzie rzeka nie jest obwałowana, istnieje konieczność wykonania wałów przeciwpowodziowych wzdłuż koryta rzeki. Podstawę projektowania obwałowań stanowią ustalone rzędne zwierciadła wody stuletniej $Q_{1\%}$ i zwierciadła wody kontrolnej $Q_{0,3\%}$ na odcinku rzeki zamkniętym granicami zlewni. Dla tych stanów należy projektować zabezpieczenia przeciwpowodziowe w postaci obwałowania koryta, ustalając wysokość wałów zgodnie z obowiązującymi przepisami.

Postępujące osiadania prowadzą do utworzenia w linii cieku na krawędzi niecki osiadania wypiętrzenia terenowego (próg terenowy), co stanowi barierę uniemożliwiającą grawitacyjny spływ wód z obszaru utworzonej niecki bezodpływowej i piętrzenie wody w dolinie cieku. Obwałowanie koryta zabezpiecza teren przyległy w okresie wysokich wód, jednak postępujące osiadania powodują sukcesywne obniżanie się korony wałów w obrębie niecki obniżeniowej. Dla niedopuszczenia do wylewu wód rzecznych na przyległy teren depresyjny niezbędne jest systematyczne podnoszenie poziomu obwałowania rzeki, wyprzedzająco w stosunku do postępujących deformacji terenu. Nadsypywane wały powinny mieć taką wysokość, aby umożliwić grawitacyjny przepływ wody przez próg terenowy i zapewnić utrzymanie płynącej wody w wyznaczonym wałami nowym przekroju koryta. Należy zwrócić uwagę, że w przypadku budowy na rzece wysokich wałów powyżej terenów miejskich zwiększa się zagrożenie powodziowe miasta.

Ochrona terenu górniczego poprzez pogłębienie koryta cieku. Ograniczenie wysokości wałów ochronnych może zostać zapewnione tylko poprzez pogłębienie koryta rzeki w obrębie progu terenowego i dalej poza niecką osiadania w kierunku biegu cieku, w zakresie umożliwiającym grawitacyjny przepływ wody. Wielkość obniżenia poziomu wody w obszarze niecki bezodpływowej będzie uzależniona od głębokości pogłębienia koryta. Zapewnienie grawitacyjnego odpływu wody z całej niecki obniżeniowej wymaga pogłębienia koryta do głębokości odpowiadającej wartości maksymalnych osiadań, niejednokrotnie na odcinku kilku kilometrów, co uzależnione jest od spadku podłużnego koryta. Możliwość pogłębienia koryta rzeki jest tym większa, im jest większe nachylenie cieku poza niecką osiadania, a teren w otoczeniu nie jest zurbanizowany. W obszarach miejskich realizacja

takiego rozwiązania jest bardzo kosztowna i skomplikowana technicznie z uwagi na infrastrukturę terenu.

4. Ochrona terenu górniczego przed zawodnieniem na przykładzie kopalni „Szczygłowice”

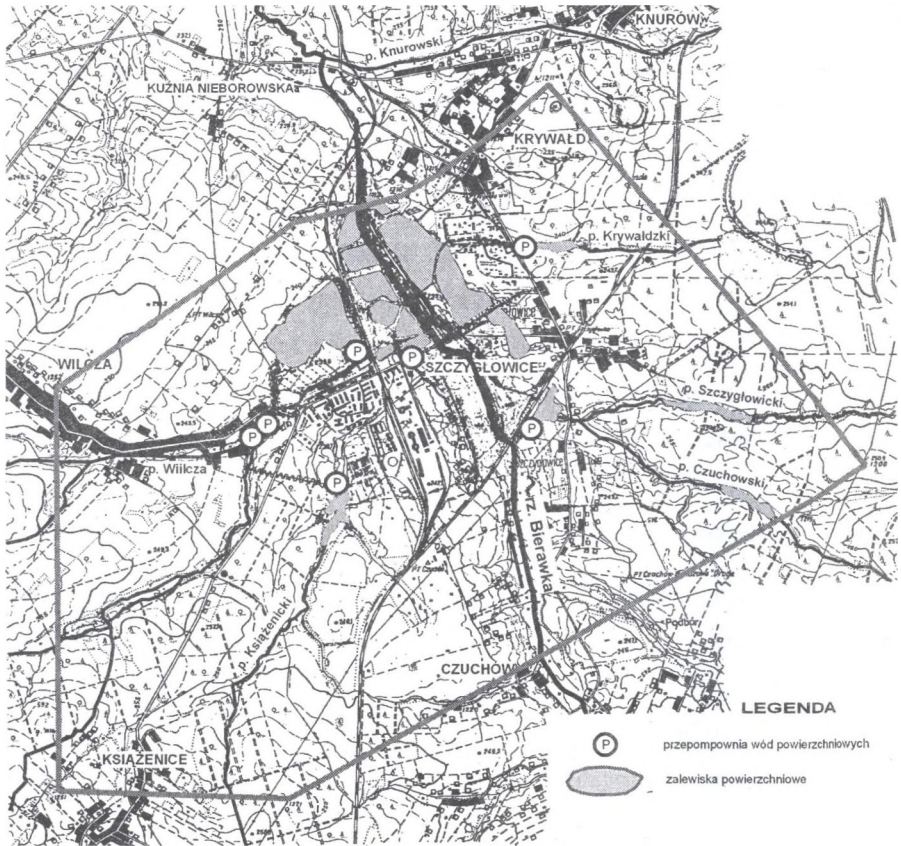
Kopalnia „Szczygłowice” prowadzi roboty eksploatacyjne od roku 1960, które objęły ponad 30 pokładów węgla kamiennego. Podstawowym systemem eksploatacji stosowanym w kopalni jest system ścianowy na zawał. W wyniku oddziaływania robót górniczych na górotwór doszło do znacznych osiadań powierzchni terenu, których skutkiem jest między innymi postępujące zawodnienie terenu, szczególnie w dolinie rzeki Bierawki, głównego cieką odwadniającego teren górniczy kopalni i rozszerzanie się powierzchni zalewisk w nieckach osiadania. W omawianym rejonie utwory czwartorzędowe zalegają na grubym kompleksie iłów trzeciorzędowych, który całkowicie izoluje wody powierzchniowe i wody czwartorzędowe od wyrobisk górniczych prowadzonych w warstwach karbońskich.

4.1. Morfologia terenu i warunki hydrograficzne w obszarze górniczym kopalni „Szczygłowice”

Obszar górniczy kopalni „Szczygłowice”, o powierzchni 21,3 km², położony jest w zachodniej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Powierzchnia obszaru górniczego zajęta jest przez pola uprawne, łąki, lasy, zabudowania mieszkalne, urządzenia komunalne i obiekty przemysłowe. Głównymi naturalnymi elementami morfologicznymi jest wysoczyzna morenowa oraz rozcinające ją formy erozyjne. Powierzchnia wysoczyznowa wykazuje nachylenie w kierunku północnym, od wysokości 250-260 m n.p.m. w części południowej do 230-240 m n.p.m. w części północnej. Przez środkową część obszaru górniczego przebiega z południa na północ dolina rzeki Bierawki. Z doliną tą łączą się wyraźnie zarysowane w morfologii terenu boczne doliny z licznymi odgałęzieniami (rys. 1).

W okresie istnienia kopalni powierzchnia terenu uległa znacznym przeobrażeniom, głównie na skutek poeksploatacyjnych obniżzeń terenu. Inną formą przeobrażeń powierzchni terenu, ściśle powiązaną z powstawaniem niecek obniżeniowych, jest nadsypywanie terenów depresyjnych, formowanie obwałowań wzdłuż koryt cieków, podnoszenie nasypów kolejowych i drogowych oraz wykonywanie przekopów i innego rodzaju robót ziemnych. Te formy przeobrażeń powierzchni terenu są szczególnie widoczne w dolinie rzeki Bierawki,

w jej środkowej i północnej części. Wysokość obwałowań koryta oraz przyległych zwałowisk dochodzi do 16 m.



Rys. 1. Mapa hydrograficzna obszaru górniczego kopalni „Szczygłowice”
Fig. 1. Hydrographic map of mining area „Szczygłowice”

Obszar górniczy kopalni „Szczygłowice” jest w całości położony w zasięgu zlewni rzeki Bierawski, stanowiącej prawobrzeżny dopływ Odry. W granicach obszaru górniczego kopalni „Szczygłowice” rzeka Bierawka przepływa w przybliżeniu w kierunku południkowym (z południa na północ). Na odcinku od 39,6–47,0 km koryto rzeki przebiega przez tereny objęte szkodami górniczymi, spowodowanymi eksploatacją pokładów węgla przez kopalnię „Szczygłowice”. Przez znaczną część obszaru górniczego rzeka przepływa w obwałowaniach, ponad powierzchnią terenu. Prowadzi ona wody silnie zanieczyszczone ściekami gospodarczymi i przemysłowymi.

Dopływami prawobrzeżnymi rzeki Bierawki na obszarze górniczym kopalni są: potok Krywałdzki, potok Szczygłowski z rowem Czuchowskim i potok Jordanek. Dopływami lewobrzeżnymi są: potok Książenicki i potok Wilcza.

Obok cieków wodnych na obszarze górniczym kopalni „Szczygłowice” znajdują się liczne zbiorniki wodne, które są charakterystycznym elementem hydrograficznym tego obszaru. Powstanie większości z nich wiąże się z zakłóceniami naturalnych warunków przepływu wód, wywołanymi deformacjami powierzchni w następstwie eksploatacji górniczej. W wyniku osiadań powierzchni terenu w dolinach większości cieków powstały zalewiska (rys. 1). Największa koncentracja zalewisk ma miejsce w północnej części doliny Bierawki. Wywołana poeksploatacyjnymi obniżeniami zmiana profilu podłużnego rzeki Bierawki spowodowała spiętrzenie jej wód, a rzeka straciła swą pierwotną funkcję odbiornika wód powierzchniowych i gruntowych napływających w kierunku osi doliny z prawobrzeżnej i lewobrzeżnej części zlewni. Rejonem występowania zalewisk jest także północno-wschodnia oraz południowo-wschodnia część obszaru górniczego, obejmująca zlewnie potoku Krywałdzkiego i potoku Szczygłowickiego.

4.2. Obniżenia terenu związane z eksploatacją dokonaną i projektowaną

Poeksploatacyjne obniżenia powierzchni terenu, jakie wystąpiły w obszarze górniczym kopalni „Szczygłowice”, są ściśle związane z uwarunkowaniami geologiczno-górniczymi. Ze względu na zaburzenia geologiczne oraz filary ochronne zaistniała konieczność ograniczenia eksploatacji, wskutek czego koncentruje się ona jedynie w kilku rejonach wydobywczych, gdzie powstało kilka głębokich niecek obniżeniowych rozdzielonych progami. Wpływami dokonanej eksploatacji górniczej objęte zostały dotychczas tereny o powierzchni 18,1 km², co stanowi około 85% obszaru górniczego kopalni. Niecki obniżeniowe spowodowane osiadaniami występują praktycznie na całym obszarze, a największe osiadaniami objęły część centralną i północno-wschodnią obszaru górniczego, gdzie przekroczyły wartości 10–16 m [4].

Najgłębsza niecka obniżeniowa, o głębokości powyżej 16,0 m, powstała w centralnej części obszaru górniczego, w dzielnicy Szczygłowice, na prawym zawału Bierawki. Najbardziej widoczne przeobrażenia powierzchni terenu na obszarze kopalni są skoncentrowane w środkowej i północnej części doliny rzeki Bierawki, która obecnie płynie powyżej powierzchni terenu w sztucznie usypanych obwałowaniach. Wysokość obwałowań koryta rzeki oraz przyległych do nich obszarów rekultywowanych dochodzi do 13 m.

Niecka obniżeniowa o głębokości około 13 m obejmuje dzielnicę Krywałd i północno-wschodnią część obszaru górniczego. W części wschodniej i południowo-wschodniej obszaru dotychczasowa eksploatacja górnicza spowodowała osiadaniami terenu do około 12 m. W części

zachodniej obszarze górniczego osiadania terenu nieznacznie przekraczają 8 m, a w części południowej, na terenie miasta i gminy Leszczyny, maksymalne osiadania wynoszą 4 m. Poza zasięgiem obniżeń poeksploatacyjnych znajduje się tylko niewielka część terenu w południowo-zachodniej części obszaru górniczego, obejmująca rejon Książnic oraz chroniony filarem ochronnym teren Zakładu Głównego.

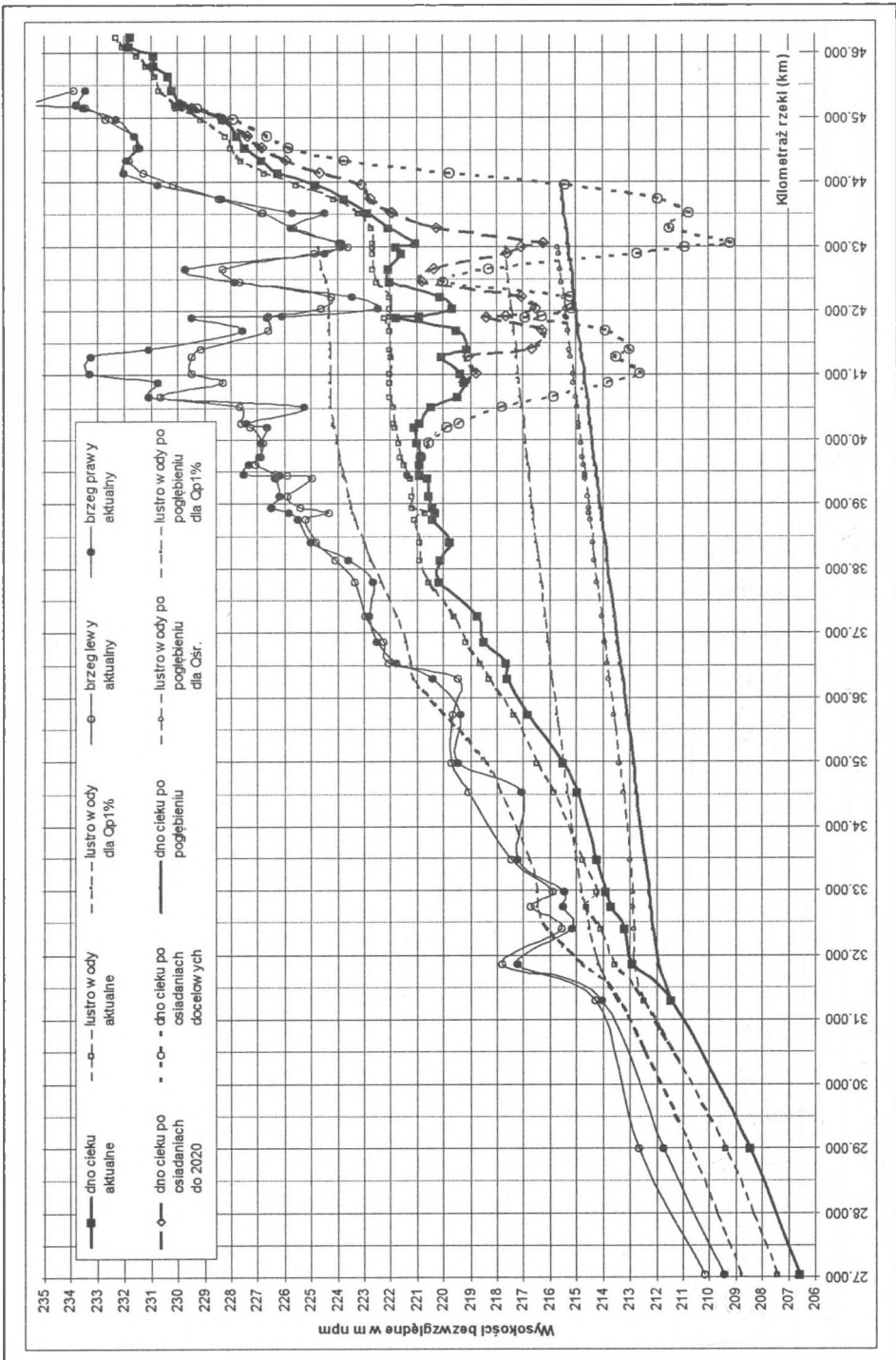
W związku z projektowaną dalszą eksploatacją złoża przewiduje się powiększenie dotychczasowych niecek obniżeniowych.

Eksploracja górnicza planowana do roku 2020 będzie skoncentrowana głównie w istniejących rejonach wydobywania, zatem przestrzenny rozkład osiadań terenu zasadniczo nie ulegnie istotnej zmianie w stosunku do osiadań dotychczasowych, z tym że wartość osiadań w epicentrach tych niecek wzrośnie w granicach od 5,0 do 7,0 m (rys. 2).

Eksploracja górnicza planowana w okresie docelowym, do zakończenia eksploatacji węgla, spowoduje wystąpienie osiadań terenu o wartości od 3,0 do 12,0 m, które będą się koncentrowały w przedstawionych wcześniej rejonach niecek obniżeniowych (rys. 2).

Jednym z najbardziej niekorzystnych czynników wynikającym z działalności górniczej i degradujących powierzchnię są niekorzystne zmiany stosunków wodnych, polegające na powstaniu zalewisk i podtopień. Zjawisko to w szczególnie ostrej formie wystąpiło w dolinie rzeki Bierawki i jej dopływów. Sytuację, jaka zaistniała w tym rejonie, należy uznać za szczególnie niekorzystną i uciążliwą, ponieważ rzeka Bierawka przepływa w obwałowaniach ze skały płonnej, a pobliskie tereny znajdują się w depresji w stosunku do rzeki (rys. 2).

Dla zminimalizowania negatywnych oddziaływań na środowisko, w całym okresie dotychczasowej działalności kopalni prowadzone były różnorodne działania w zakresie regulacji stosunków wodnych na powierzchni i ograniczenia zawodnień terenu. Z uwagi na dalsze planowane roboty eksploatacyjne i prognozowane dość znaczne pogłębienie istniejących niecek osiadania, niezbędne staje się wypracowanie takiej koncepcji wykonania robót regulacyjnych w korycie rzeki Bierawki, które umożliwiłyby grawitacyjne odprowadzanie wód z terenu osiadań górniczych wywołanych eksploatacją złoża nie tylko w ujęciu doraźnym, lecz docelowym, po zakończeniu eksploatacji przez kopalnię.



Rys. 2. Profil podłużny rzeki Bierawki (km 27,0–46,0)
 Fig. 2. Profil of the Bierawka river (km 27,0–46,0)

4.3. Ocena parametrów hydrologicznych zlewni Bierawki i zlewni cząstkowych

Obliczenia hydrologiczne przeprowadzono dla rzeki Bierawki oraz jej ważniejszych dopływów: potoku Szczygłowieckiego, przepływającego przez obszar górniczy kopalni „Szczygłowice” oraz dla potoku Knurowskiego odwadniającego obszar górniczy kopalni „Knurów”. Z uwagi na przewidywaną możliwość pogłębienia koryta Bierawki sięgającego poza obszar górniczy kopalni „Szczygłowice”, na Bierawce wyróżniono trzy przekroje obliczeniowe, zlokalizowane w km 42,9; 36,7 i 30,5. Pierwszy z nich zlokalizowany jest w miejscu przepustu kolejowego na Bierawce i zamyka zlewnię o powierzchni 89,8 km², drugi (środkowy) zamyka zlewnię o powierzchni 137,2 km² oraz trzeci położony w miejscowości Trachy obejmuje zlewnię o powierzchni 152,2 km².

W każdym przekroju obliczono: przepływ średni roczny, przepływ absolutnie najniższy, przepływ średni niski, przepływ normalny, wielką wodę katastrofalną (za pomocą wzorów Iszkowskiego) oraz przepływy maksymalne o prawdopodobieństwie pojawiania się 1%, 10% i 50%. Ponieważ w rozpatrywanych zlewniach cząstkowych brak jest przekrojów wodowskazowych, przepływy charakterystyczne zostały obliczone metodami empirycznymi [2,9]. Dla przekrojów w km 35,7 i 29,5, tj. środkowego i końcowego, ze względu na ich bliskie usytuowanie w stosunku do najbliższego przekroju wodowskazowego w Tworogu Małym, przepływy maksymalne o prawdopodobieństwie pojawiania się 1%, 10% i 50% zostały obliczone również poprzez ekstrapolację wartości przepływów maksymalnych z tego przekroju. Wyniki obliczeń zostały przedstawione w tabeli 1.

4.4. Stany wód w korycie dla przepływów charakterystycznych

Dla czterech przepływów charakterystycznych: przepływu średniego oraz przepływów o prawdopodobieństwie wystąpienia $p = 50\%$, 10% i 1% wyznaczono stany wody w korycie rzeki Bierawki, z uwzględnieniem przepustów drogowych i kolejowych w linii ciekłu na odcinku w km 29,5–45,0. Obliczenia stanów wody wykonano za pomocą wzoru różnicowego, który opiera się na równaniu Bernoulliego dla nierównomiernego ruchu wody w korycie i zapisany jest za pomocą różnic skończonych dla dwóch przekrojów poprzecznych 1 i 2 [1]:

$$Z_2 = Z_1 + \frac{\alpha}{2g} \cdot (v_1^2 - v_2^2) + \Delta h_{str} \quad (1)$$

gdzie:

α – współczynnik Coriolisa,

v_1, v_2 – średnie prędkości przepływu w przekrojach 1 i 2.

$$v_1 = Q_1 / F_1 \quad (2)$$

$$v_2 = Q_2 / F_2$$

Tabela 1

Zestawienie przepływów charakterystycznych

Przepływy charakterystyczne [m ³ /s]		Rzeka Bierawka			Potok Szczygłowski	Potok Knurowski	
		Przekrój początkowy km 42,9	Przekrój środkowy km 36,7	przekrój Trachy km 30,5			
Wzory Iszkowskiego	Przepływ średni roczny SQ	0,63	0,94	1,04	0,08	0,12	
	Przepływ absolutnie najniższy Q ₀	0,16	0,24	0,26	0,02	0,03	
	Przepływ średni niski Q ₁	0,32	0,47	0,52	0,04	0,06	
	Przepływ normalny Q ₂	0,55	0,82	0,91	0,07	0,11	
	Wielka woda katastrofalna Q ₄	27,00	40,14	44,40	4,46	6,04	
Maksymalny o określonym prawdopodobieństwie pojawiania się	Obliczone wzorami empirycznymi	Q _{1%}	18,17	24,32	26,66	6,17	9,85
		Q _{10%}	11,47	15,35	16,82	3,89	6,22
		Q _{50%}	6,20	8,29	9,09	2,10	3,36
	Ekstrapolacja wartości przepływów z posterunku w Tworogu M.	Q _{1%}	-	8,86	9,52	-	-
		Q _{10%}	-	5,58	5,99	-	-
		Q _{50%}	-	3,00	3,23	-	-

Q_1, Q_2 – natężenie przepływu wody w przekrojach 1 i 2,

F_1, F_2 – powierzchnia strumienia w przekrojach 1 i 2,

Z_1, Z_2 – rzędne zwierciadła wody w przekrojach 1 i 2,

dL – odległość między przekrojami 1 i 2,

g – przyspieszenie ziemskie ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$),

Δh_{str} – suma wysokości strat hydraulicznych na odcinku 1 – 2, obliczana wg wzoru:

$$\Delta h_{str} = 0.5 \cdot (i_1 + i_2) \cdot dL \quad (3)$$

i_1, i_2 – lokalne spadki linii energii w przekrojach 1 i 2, obliczane ze wzoru Chezy,

dL – odległość między przekrojami 1 i 2.

Na podstawie wzoru różnicowego rzędne zwierciadła wody w kolejnych przekrojach strumienia oblicza się metodą kolejnych przybliżeń. Obliczenia położenia zwierciadła wody w rzece dla przepływów charakterystycznych przeprowadzono dla aktualnego stanu ukształtowania dna w linii koryta rzeki oraz dla profilu dna koryta zmienionego pod wpływem osiadań prognozowanych do roku 2020 i osiadań docelowych [4].

4.5. Warunki grawitacyjnego spływu wód rzeki Bierawki i jej dopływów w świetle prognozowanych osiadań

Z uwagi na ukształtowanie profilu podłużnego rzeki Bierawki w granicach niecki osiadania wywołanej eksploatacją dokonaną następuje piętrzenie wód w korycie rzeki powyżej progu utworzonego w linii koryta km 40,0 na granicy północnej niecki osiadania (rys. 2). W tych warunkach powstały utrudnienia grawitacyjnego spływu wód w korytach potoków, będących dopływami Bierawki, co spowodowane jest również obwałowaniem koryta Bierawki w granicach utworzonej niecki osiadania. Obecnie potok Krywałdzki i potok Wilcza mają ujście do zalewisk utworzonych w dolinie rzeki Bierawki.

Osiadania terenu przewidywane do roku 2020 i w okresie docelowym pogłębią deformacje ujawnione dotychczas pod wpływem eksploatacji dokonanej i spowodują dalsze zaburzenia przepływu wód w zlewni Bierawki oraz znaczne powiększenie terenów podtopionych. Największe konsekwencje dla przepływu wód powierzchniowych związane będą z obniżeniami koryta rzeki Bierawki, które osiągną wartości od około 7,0 do 10,0 m.

Zasięg degradacji terenu, obejmujący obecnie północną część terenu górniczego „Szczygłowice”, w stanie docelowym rozszerzy się w kierunku zachodnim, wschodnim i południowym. Niecki obniżeniowe na dopływach Bierawki będą przyczyną rozszerzania się terenów zalewiskowych w dolinach cieków, przede wszystkim na potoku Krywałdzkim i potoku Szczygłowickim, gdzie może dojść do znacznego powiększenia istniejących zalewisk.

Rozległe tereny obszaru górniczego są zagrożone wyłączeniem spod upraw rolnych i leśnych. W granicach zawodnień gruntów będą znajdowały się również istotne elementy zagospodarowania powierzchni: budynki mieszkalne i gospodarcze, nasypy i urządzenia szlaku kolejowego linii nr 159 relacji Leszczyny–Zabrze–Makoszowy, droga wojewódzka i drogi powiatowe, wodociągi i gazociągi oraz wały rzeki Bierawki i tereny zurbanizowane gminy Czerwionka–Leszczyny.

4.6. Koncepcja pogłębienia koryta rzeki Bierawki

Dotychczasowa profilaktyka w zakresie ochrony przed zawodnieniem terenu górniczego kopalni „Szczygłowice” polegała na zapewnieniu grawitacyjnego odpływu wód z terenu górniczego poprzez wieloetapowe odcinkowe pogłębianie rzeki Bierawki i jej dopływów oraz zabudowę przepompowni i zasypywaniu terenów depresyjnych, których odwodnienie sposobem grawitacyjnym było niemożliwe.

Oceniając skuteczność dotychczasowych rozwiązań prewencyjnych, polegających głównie na pompowaniu wód z powstałych zalewisk, należy stwierdzić, że nie są one dostosowane do prognozowanych zagrożeń. Dla planowanej eksploatacji górniczej w świetle prognozowanych osiadań, istotnym zagadnieniem dla ochrony terenu górniczego przed zawodnieniem jest przede wszystkim zapewnienie grawitacyjnego odpływu wód w korycie rzeki Bierawki oraz z tworzących się niecek obniżeniowych.

Na podstawie przeprowadzonej analizy hydrologiczno–hydraulicznej rzeki Bierawki stwierdzono, że istnieje możliwość grawitacyjnego odprowadzenia wód rzeki z terenu górniczego kopalni „Szczygłowice”, i tym samym przeciwdziałania zagrożeniom wynikającym z prognozowanych osiadań górniczych przy przyjęciu koncepcji pogłębienia koryta rzeki [4,5]. Ustalono, że optymalny spadek w dnie koryta regulacyjnego powinien wynieść $i_{opt}=0,30\%$. Dla przyjętego spadku $i_{opt}=0,30\%$ dna koryta regulacyjnego ustalono wymagany zasięg (długość odcinka regulacji) projektowanych robót ziemnych dla wykonania przebudowy i regulacji rzeki. Robotami tymi objęty zostanie odcinek rzeki: od km 31+454 – km 42+804, odcinek zaczyna się w rejonie mostu w Leboszowicach i kończy w rejonie niecki osiadań prognozowanej z przepustem kolejowym. Jest to zasadniczy odcinek regulacyjny, którego długość wynosi 9350 m. Ponadto, dla uzyskania swobodnego przepływu wód w obszarze prognozowanych osiadań wymagane będzie wykonanie robót regulacyjnych w odcinkach pomiędzy tworzącymi się nieckami:

- od km 41+771 + km 42+138, o długości 367 m oraz
- od km 42+174 + km 42+784, o długości 607 m.

Kształt przekroju koryta dostosowano do wielkości przepływów średniorocznych, które mieszczą się w dolnej, umocnionej faszynie, części koryta regulacyjnego. Natomiast wody powodziowe mieszczą się w przekroju koryta do wysokości $h=2$ m, tj. do poziomu usytuowania pierwszej półki. Na odcinku pogłębianym wielkość przekroju koryta umożliwiała przebieg wód o prawdopodobieństwie wystąpienia $p=0,3\%$, co praktycznie eliminuje możliwość wystąpienia wód z koryta regulacyjnego.

Pogłębienie koryta Bierawki spowoduje ścięcie progu w linii ciekłu utworzonego na granicy niecki osiadania (w km 40,0) i wyeliminowanie w ten sposób bariery na drodze spływu, która powoduje piętrzenie wód płynących z obszaru niecki osiadania. W wyniku robót pogłębiających w rejonie progu dno koryta zostanie obniżone z obecnej rzędnej około 221 m n.p.m. do rzędnej około 214,4 m n.p.m., czyli o około 6,6 m. Właściwe skoordynowanie robót zapobiegnie powstaniu podtopień i degradacji terenu w zlewni rzeki oraz docelowo pozwoli na likwidację przepompowni wód czasowo odwadniających niecki górnicze.

5. Wnioski końcowe

1. Ze względu na sposób powstawania, w zależności od warunków morfologicznych oraz dominującej roli spływu powierzchniowego lub podziemnego, wyróżnia się następujące rodzaje zawodnień terenu:
 - rozlewiskowe – powstające w dolinach cieków na skutek zmian geometrii koryt cieków i spiętrzenia wód rzecznych,
 - napływowe – powstające w wyniku nagromadzenia się wody w lokalnych obniżeniach terenu o nieprzepuszczalnym podłożu,
 - wodnogruntowe – powstające w wyniku zmniejszenia odległości pomiędzy osiadającą powierzchnią a zwierciadłem wody podziemnej.
2. Ochrona terenu przed tworzeniem się zalewisk wywołanych oddziaływaniem robót górniczych obejmuje następujące główne kierunki:
 - pogłębienie i regulację koryta ciekłu w obrębie progu terenowego utworzonego na krawędzi niecki osiadania,
 - budowę szczelnych obwałowań koryta ciekłu w obszarze niecki osiadania,
 - budowę przepompowni w nieckach bezodpływowych wraz z rowami odwadniającymi,
 - niwelację obniżeń depresyjnych z odtworzeniem pokrywy glebowej,
 - dostosowanie frontu eksploatacyjnego do ukształtowania terenu, przy uwzględnieniu głównych kierunków spływu wód powierzchniowych i podziemnych.
3. Działalność wydobywcza prowadzona przez kopalnię „Szczygłowice” spowodowała znaczne przeobrażenia powierzchni terenu, wynikające z ujawniających się obniżeń i odkształceń poeksploatacyjnych. Największe osiadania objęły centralną i północno–

wschodnią część obszaru górniczego, gdzie ich wartości przekroczyły 10–16 m. Nastąpiły niekorzystne zmiany stosunków wodnych, polegające na powstaniu zalewisk i podtopień oraz zaburzeniu grawitacyjnego odpływu wód powierzchniowych z niecek obniżeniowych. Z uwagi na dalsze planowane roboty eksploatacyjne, istniejące niecki osiadania ulegną znacznemu pogłębieniu, docelowo w dolinie Bierawki o około 10 m. Spowoduje to zaburzenie splywu grawitacyjnego wód, pogłębienie istniejących zalewisk, powiększenie się terenów zagrożonych trwałym zawodnieniem, a także zagrożenia dla istniejącej infrastruktury na powierzchni.

4. W celu przeciwdziałania negatywnym wpływom planowanych robót eksploatacyjnych oraz zapewnienia grawitacyjnego odprowadzenia wód rzeki Bierawki i jej dopływów z niecki osiadań górniczych przedstawiono koncepcję regulacji i pogłębienia koryta Bierawki od km 31+454 do km 42+804. Proponowane rozwiązanie zapewni nie tylko grawitacyjny odpływ wód powierzchniowych z obszaru górniczego kopalni „Szczygłowice” ale również z terenów znajdujących się poniżej tego obszaru, a podlegających wpływom działalności górniczej prowadzonej przez kopalnię „Knurów”, a ponadto zapobiegnie degradacji terenu w zlewni i pozwoli na likwidację przepompowni wód czasowo odwadniających niecki górnicze. Jest to także bardzo istotne z punktu widzenia uregulowania stosunków wodnych na przyszłym terenie pogórnim.

LITERATURA

1. Dąbkowski L., Skibiński J., Żbikowski A.: *Hydrauliczne podstawy projektów wodnomelioracyjnych*. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa 1982.
2. Lambor J.: *Hydrologia inżynierska*. Wyd. Arkady, Warszawa 1971.
3. Pozzi M., Cempiel E.: *Zabezpieczenie przeciwpowodziowe terenu Przyszowic w warunkach oddziaływania eksploatacji górniczej*. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Górnictwo, z. 256, Gliwice 2003.
4. Pozzi M., Cempiel E., Czajkowska A.: *Koncepcja uregulowania stosunków wodnych w zlewni rzeki Bierawki w rejonie przepustu kolejowego w świetle prognozowanych osiadań powierzchni terenu do roku 2020 i po tym okresie (docelowo)*. Politechnika Śląska, Instytut Geologii Stosowanej, Gliwice 2006.
5. *Praca zbiorowa: Koncepcja programowo-przestrzenna ochrony terenu górniczego przed zawodnieniem wskutek eksploatacji górniczej KWK „Szczygłowice” w Knurowie – sposób grawitacyjny*. Firma „ABS–OCHRONA ŚRODOWISKA” Spółka z o.o., Katowice 2006.
6. Rogoż M.: *Hydrogeologia kopalniana z podstawami hydrogeologii ogólnej*. Wyd. Głównego Instytutu Górnictwa, Katowice 2004.

7. Sztelak J., Cempiel E.: Skutki na powierzchni terenu wynikające ze zmiany układów hydrogeologicznych i hydrograficznych w rejonach górniczych. II Konferencja „Postęp Naukowy i Techniczny w Geologii Górniczej Węgla Kamiennego”. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Górnictwo, z. 172, Gliwice 1988.
8. Wycisło K.: Zapobieganie szkodom hydrogeologicznym. W: Ochrona powierzchni przed uszkodzeniami górnictwem. Wyd. Śląsk, Katowice 1980.
9. Zasady obliczania maksymalnych rocznych przepływów rzek polskich o określonym prawdopodobieństwie pojawiania się. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, seria: Instrukcje i podręczniki, Warszawa 1991.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Edward Popiołek